14. 柑橘

農業部苗栗區農業改良場/蔡正賢/副研究員

14.1 作物概述

柑橘為芸香科亞熱帶常綠果樹，因其風土適應性強，為臺灣栽培面積最多的果樹之一，柑橘作物主要為椪柑、桶柑及茂谷柑，椪柑主要栽培區在嘉義、臺中、臺南；桶柑主要栽培區在新竹、苗栗、臺中；茂谷柑主要栽培區在臺中、雲林、嘉義。

依據農糧署 113 年農情報告，椪柑栽培面積為 4,874.1 公頃，桶柑栽培面積 2,932.82 公頃，茂谷柑栽培面積 1,887.75 公頃。每公頃收量，椪柑約 19,082 kg，桶柑約 16,190 kg，茂谷柑約 17,693 kg。

14.2 栽培環境

試驗場域位於苗栗縣卓蘭鎮，緯度 24.3°N，海拔 550 m。柑橘品種為桶柑，樹齡 20 年，樹高約 2.5 m，行距 5.4 m，株距 4.5 m。113 年全年作物蒸發散量 1,340 mm，降雨量 2,195 mm，每月氣象資料與作物蒸發散量如表一，1-2 月氣溫、雨量皆低，柑橘採收、修剪，花芽分化；3 月起柑橘萌芽、開花，惟此時降雨情形不穩定，若雨量不足，需要灌溉以減少缺水的影響；4 月以後氣溫高於 20℃，果實著果，冠層開始發展，作物蒸發散量開始明顯增加；5-9 月是柑橘果實發育的時期，適逢氣溫開始逐月提高，作物蒸發散量於 6-7 月達到最高，整體而言，此階段雨量也較為充足；10 月以後開始果實轉色、成熟，由於日照變短，氣溫也隨之下降，作物蒸發散量少。

土壤有效水分含量調查結果如表二，深度 0-60 cm 土壤有效水分含量約 187 mm，田區土壤剖面及田區土壤滲漏能力等相關土壤特性分析之調查結果 (表三)，質地為壤土，3 個試體之總體密度介於 1.28-1.57 g/cm^3，最大值出現於 15-30 cm 深度，為土壤緻密層，該層的飽和導水度 0.0062 cm/sec 較低，水分的入滲受到阻礙，顯示每次灌溉水或降雨之入滲率不超過該層之 10 mm/hr。

表一、試驗場域 113 年各月份氣象資料與作物蒸發散量

月份	生育期	氣溫 ℃	降雨量 mm/day	參考蒸發散量(ETo) mm/day	作物蒸發散量 (ETc) mm/day
1 月	採收期	15.9	0.05	1.83	0.40
2 月	花芽分化期	17.9	0.99	2.85	0.63
3 月	萌芽開花期	19.4	1.21	3.20	1.18
4 月	結果期	24.9	7.3	3.95	3.88
5 月	結果期	25.3	5.19	3.79	5.09
6 月	果實發育期	27.9	12.9	4.89	6.40
7 月	果實發育期	28.4	19.4	5.38	5.69
8 月	果實肥大期	28.1	13	5.09	5.09
9 月	果實肥大期	27.3	12.9	4.58	4.58
10 月	果實肥大期	25.4	2.14	3.75	3.50
11 月	轉色期	21.8	3.57	2.68	2.68
12 月	成熟期	16.5	0.84	2.07	1.38

表二、土壤有效水分含量

深度 cm	重量水分含量 %			水分體積容量 %			土層厚度含水量 mm			有效水分含量 mm
	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	
0-15	30.5	26.6	0.97	39.1	34.2	1.24	59	51	2	57
15-30	20.9	18.7	12.9	32.8	29.3	20.2	49	44	30	19
30-60	30.9	26.3	2.59	40.5	34.5	3.39	121	103	10	111

表三、土壤飽和導水度與入滲率

深度	CEC	質地				飽和導水度		總體密度	入滲率	
		砂粒	坋粒	黏粒	質地	流量平均	k 值			
cm	cmol/kg	%				mL/min	cm/s	g/cm^3	ml/s	mm/h
0-15	18.24	43.46	36.22	20.32	壤土	1.57	0.0130	1.28	0.65	75
15-30	13.57	41.70	32.88	25.42	壤土	0.90	0.0062	1.57	0.09	10
30-60	10.99	39.62	34.43	25.95	壤土	2.10	0.0149	1.31	2.03	233

14.3 灌溉指引

柑橘灌溉操作通常為噴灌，垂直管噴頭離地面約 60-90 cm 高，不同管路灌溉系統之灌溉效率，噴灌約 80-85%，微噴 (霧) 灌約 85-90%，滴灌約 90-95%，田間灌溉量 = 灌溉量 × 灌溉效率。

依據表三，每次噴灌水流量最好不超過土壤入滲速率之下限 10 mm/hr，以避免逕流損失，每次灌溉水量 10 mm 計算，灌溉時間約 60 分鐘。由於蓄水設施容量有限，柑橘每次灌溉量滿足 1-3 日的作物需水即可，約 5-10 mm，可以增加土壤吸收降雨的機會，1 分地面積 1 mm 水量約等於 1 公噸。有效的柑橘灌溉管理最好遵循以下步驟：

- 步驟 1、確定柑橘的根系深度以及有效水分含量

根深內有效水分含量代表土壤最大供水量，不同土壤的有效水分含量各不相同，取決於土壤質地、土壤構造和土壤有機質等。不同質地土壤每公分深度有效水分含量簡單估算如表四，該係數乘以根深即為根深內有效水分含量，以壤土為例，根深 75 cm，根深內有效水分含量 = 1.67 mm/cm × 75 cm = 125 mm。

表四、不同質地土壤每公分深度有效水分含量

質地	砂土	砂壤土	壤土	坋壤土 mm/cm	黏壤土	坋黏土	黏土
係數	0.21	1.21	1.67	2.00	2.00	1.58	1.50

- 步驟 2、定義各生長階段允許的土壤耗水限值

根深內土壤水分消耗越多，土壤水分張力越大，植物吸收水分就越困難，結果期及果實發育期土壤張力值設定為 30 kPa (向與唐，2021)，果實成熟期至採收，土壤張力值設定為 60-100 kPa 左右。土壤耗水限值可以用一個土壤有效水分含量之比例來表示 (蔡等人，2024)，比例越大，土壤越乾燥 (表五)。以步驟 1 之土壤為例，採收期至花芽分化前期允許土壤乾燥，將土壤耗水限值設定為土壤有效水分含量之 50% (62.5 mm)，此後為確保萌芽開花階段土壤濕潤，開始逐漸調至 32% (40 mm)；結果期至果實發育期為柑橘

關鍵生長期或用水高峰期時，為了最大限度地滿足作物需求，維持 32% 之比例；隨著果實接近成熟，可以加大土壤水分乾燥程度，比例逐漸調整至 50%，直至採收。

表五、土壤耗水比例及其對應之土壤水分張力

比例 (%)	23	32	40	50	57
土壤水分張力 (kPa)	20	30	40	60	100
描述	潮濕	濕潤	略乾	乾燥 但不缺水	輕微缺水

- 步驟 3、追蹤土壤耗水量

依據水分平衡公式：最終土壤耗水量 = 最初土壤耗水量 + 作物蒸發散量 – 灌溉量 – 有效雨量 (式 1)。作物蒸發散量 (ETc) 是土壤耗水的主要因素，一般使用「參考蒸散量」加權一個「作物係數」計算，表一列出了各月份的每日作物蒸發散量，乘以日數即為特定期間之作物蒸發散量。舉例而言，4 月 1 日至 4 月 10 日之作物蒸發散量為 3.88 mm/day × 10 日 = 38.8 mm。

- 步驟 4、當預計土壤耗水量即將接近灌溉管理者允許的限度時，開始灌溉。

由於在田間很難估計最初土壤耗水量，只要雨量足夠，就可以將雨後之最初土壤耗水量設定為 0，以方便計算。以步驟 3 為例，如果 3 月 31 日 (結果期) 降大雨，則 4 月 10 日土壤耗水量 (38.8 mm) 已接近結果期允許之土壤耗水限值 (40 mm)，最好於近日內灌溉。

式 1 可修改為，灌溉量 = (最初土壤耗水量 – 最終土壤耗水量) + (每日作物蒸發散量 × 期距) – 有效雨量 (式 2)，土壤水分會影響各生長時期灌溉需水量，以下是按生長階段製定的灌溉規劃 (圖一)：

- 春梢萌發與開花期：土壤此時乾燥，需灌溉以補償作物需水，依據步驟 2 定義，最初土壤耗水量為 62.5 mm，最終土壤耗水量為 40 mm，作物蒸發散量 1.18 mm/day，開花期 30 日。依據式 2，灌溉量 = (62.5 mm – 40 mm) + 1.18 mm/day

× 30 日= 57.9 mm，如果分 6 次灌溉，灌溉效率 85%，每次灌溉量 = 57.9 mm ÷ 6 ÷ 85% = 11.4 mm，3-5 日灌溉 1 次，遇降雨則視雨量調整。

- 結果期至果實肥大期：大雨後，灌溉期距 = 土壤耗水限值 ÷ 每日作物蒸發散量，例如 5 月結果期之蒸發散量約 5.09 mm/day，因此灌溉期距 = 40 mm ÷ 5.09 mm/day = 7.8 day。持續乾旱期，維持作物需水即可，灌溉期距 = (灌溉量 × 灌溉效率) ÷ 每日作物蒸發散量，例如 5 月結果期之灌溉期距 = 10 mm × 85% ÷ 5.09 mm/day = 1.7 day。

- 轉色期：大雨後不建議灌溉；持續乾旱期，土壤由濕轉乾過程中，土壤水分可供應部分的作物需水，相當於 (40 mm – 62.5 mm) ÷ 30 day = – 0.75 mm/day，每日作物蒸發散量 2.68 mm/day，因此灌溉期距 = 10 mm × 85% ÷ (2.68 mm/day – 0.75 mm/day) = 4.4 day。

- 成熟期、採收期：大雨後不建議灌溉，持續乾旱期參考結果期至果實肥大期。各生育期柑橘建議灌溉期距整理如表六。

表六、柑橘建議灌溉期距 (每次灌溉量 10 mm)

生育期	**採收期**	**花芽分化期**	**萌芽開花期**	**結果期**		**果實發育期**		**果實肥大期**			**轉色期**	**成熟期**
月份	**1 月**	**2 月**	**3 月**	**4 月**	**5 月**	**6 月**	**7 月**	**8 月**	**9 月**	**10 月**	**11 月**	**12 月**
灌溉期距 (日)												
大雨後	-	-	○	10	7-8	6-7	7	7-8	8-9	11	-	-
持續乾旱	21	13	3-5	2-3	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	4-5	6-7

○：視雨量調整；-：表示期間不建議灌溉

14.4 蓄水設施容量建議

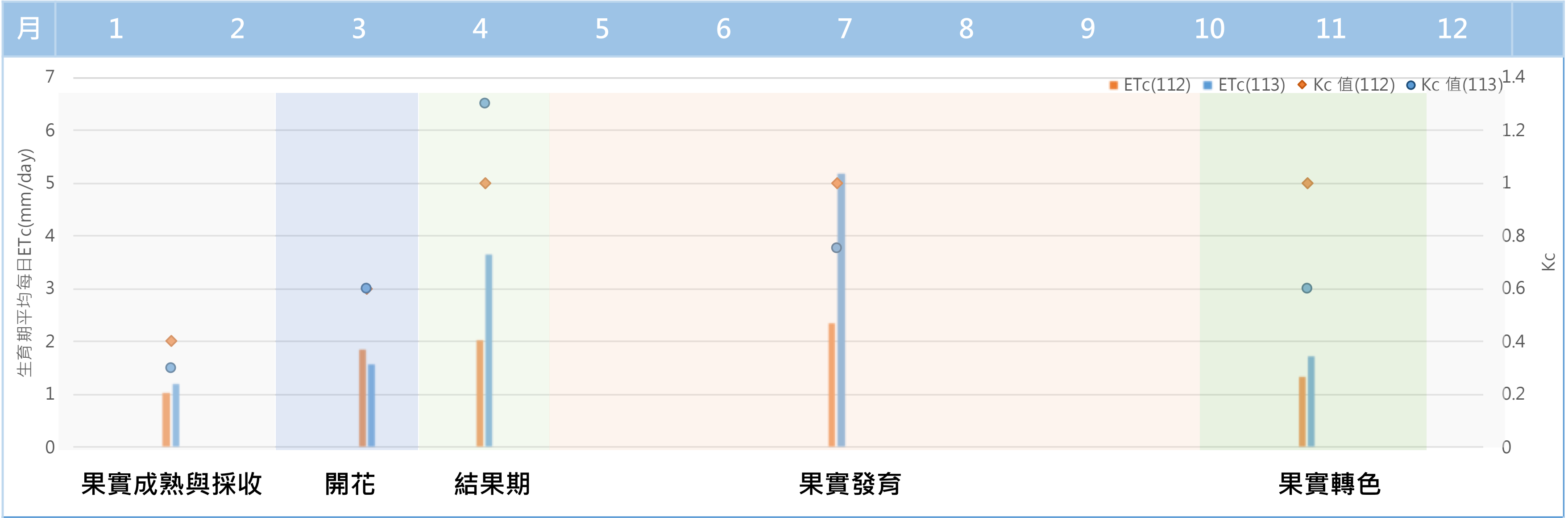
應考量水源取得之難易進行規劃。若水源易取得，則以調節配水用途為主，貯水設施容量不必預留過大。若水源取得困難，則須兼具調節及蓄水用途，至少應滿足 1 次灌溉所需之蓄水量，並就在地區域乾旱缺水風險而酌予增大容量設計。參考目前相關補助基準，如核定面積 0.3 公頃以上：最大容量 100 噸。

14.5 結語

了解自己果園土壤，並依據作物需求，設定灌溉指標，才能精確估算用水量，適時提供柑橘用水。灌溉水源有限之田區，至少應於旱季與重要生育時期適度灌溉補充水分；確認灌溉系統的容量足夠季節及重要時期需水量，若灌溉系統容量有限，可延長灌溉間距，讓土壤容納更多降雨，提高降雨利用率。灌溉水源充足之田區，可落實水源精準調控之管理，擬定一監測程序以確認能適時適量灌水，使柑橘始終有最佳之水分吸收 (向與吳，2004)。

柑橘

地區(地理位置)：苗栗縣卓蘭鎮　面積：0.4 公頃 (360 顆/公頃)　土壤質地：壤土　灌溉方式：露天/噴灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
開花	**開花期為需水臨界期，是對水分需求最敏感時期。**降雨後視雨量大小，約 1-2 週後補灌溉 1 次，若持續乾旱，每 3-5 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm，一旦雨季開始，停止灌溉。
結果期	大雨後 7-10 日灌溉，若持續乾旱每 1-3 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm。
果實發育	大雨後 6-7 日灌溉，持續乾旱每 1-3 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm；或在土表下 30 cm 處達 30 kPa 時進行灌溉。
果實轉色	大雨後不建議灌溉，持續乾旱每 4-5 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm；或在土表下 30 cm 處達 60-100 kPa 時進行灌溉。
果實成熟與採收	採收前 1 個月應停止灌溉，採收後持續乾旱約 1-3 週後補灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm。

執行單位：農業部苗栗區農業改良場　計畫主持人：蔡正賢副研究員

圖一、灌溉指引圖-柑橘 (詳附錄 11)。